



## **Eficiência do reforço de CFRP em estruturas de concreto sob efeito térmico**

A.S.Fortes (1); I. J. PadaratzJ (2) A.O. Barros (3); I. F. Freire (1)

(1) *Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia – CEFET-BA R. Emídio Santos s/n 40300-010, Salvador-BA, BR. e-mail: [fortesas@terra.com.br](mailto:fortesas@terra.com.br) e [ian@cefetba.br](mailto:ian@cefetba.br)*

(2) *Professor do Departamento de Engenharia Civil, Escola Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina. Campus de Trindade – Cx. Postal, 476, 88.040-900 Florianópolis-SC, BR. email: [ecv1ijpf@ecv.ufsc.br](mailto:ecv1ijpf@ecv.ufsc.br)*

(3) *Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil, Escola Engenharia, Universidade do Minho, Campus de Azurém, 4810-058 Guimarães, Portugal. email: [barros@civil.uminho.pt](mailto:barros@civil.uminho.pt)*

### **Resumo**

Uma das questões que merece atenção quando da utilização de reforço de estruturas de concreto por intermédio da aplicação de materiais compósitos a base de matriz epóxi é a redução de resistência do material com o aumento de temperatura. A temperatura máxima de utilização dos adesivos epoxídicos, normalmente empregados na construção civil, é de aproximadamente 70° C. Este fato tem sido relatado por diversos pesquisadores como uma das desvantagens da aplicação das técnicas que utilizam este material como ponte de aderência entre o reforço e o substrato de concreto.

Dados sobre a eficiência do reforço por meio da utilização de mantas e laminados de fibras de carbono (*Carbon Fiber Reinforced Polymer – CFRP*) em estruturas de concreto, quando submetidas a temperaturas acima da ambiente, são necessários para qualificar a segurança da estrutura reforçada e apreciar a técnica de reforço com CFRP mais eficaz para o efeito de temperatura, dados estes pouco explorados na literatura sobre o tema.

Este fato nos motivou a desenvolver um estudo experimental em peças de concreto reforçadas com 03 (três) técnicas: manta colada sobre a superfície do concreto, laminado também colado sobre a superfície do concreto e laminado colado em entalhes executados no concreto. As peças de concreto reforçadas foram submetidas a 03 (três) temperaturas acima da temperatura ambiente, sendo posteriormente ensaiadas à flexão.

Os resultados experimentais são apresentados e a partir da sua discussão pode-se avaliar o comportamento de cada técnica de reforço, sob efeito da temperatura, indicando a técnica mais eficaz.

## 1 Introdução

Uma das questões que merece atenção quando da utilização de reforço de estruturas de concreto por intermédio da aplicação de materiais compósitos a base de matriz epoxídica é a redução de resistência do material com o aumento de temperatura. A temperatura máxima de utilização dos adesivos epoxídicos comuns no mercado, segundo informações dos fabricantes, é de aproximadamente 90°C, este fato tem sido relatados por diversos pesquisadores como uma das desvantagens da aplicação das técnicas que utilizam este material como ponte de aderência entre o reforço e o substrato de concreto.

Reforços de estruturas de concreto submetidas a temperaturas acima da ambiente tem sido executados com sucesso, como é o caso do reforço aplicado em uma fábrica de alumínio, localizada em Minas Gerais. Conforme informações do fabricante, foram realizados ensaios in loco, monitorando-se o comportamento do reforço, durante duas horas, com temperatura de 127°C. Os resultados foram satisfatórios, possibilitando a aplicação de cerca de 740 m<sup>2</sup> de manta de CFRP nas estruturas de concreto do edifício da fábrica, algumas muito próximas aos fornos de produção do alumínio, conforme ilustra a Figura 1.



Figura 1 - Aplicação do reforço em edifício industrial próximo aos fornos de redução, Machado 2002.

Investigações ainda são necessárias para avaliar a real possibilidade de emprego dos materiais compósitos em temperaturas de países tropicais, como é o caso do Brasil, em que facilmente encontram-se estruturas aparentes com temperaturas próximas do limite dos materiais epoxídicos.

Diversos pesquisadores e fabricantes têm apresentado as inúmeras vantagens da técnica de reforço com PRFC, que estão motivando o desenvolvimento e aplicação do reforço de estruturas de concreto por meio da colagem externa de materiais compósitos de fibras de carbono, entre elas:

- Elevada resistência à tração;

- Elevada resistência à fadiga;
- Baixo peso específico;
- Elevada resistência a agentes agressivos;
- Facilidade de aplicação, desde que, os operários sejam devidamente treinados;
- Capacidade de ganho de resistência dos elementos reforçados;
- Aumento de carga devido ao peso próprio do reforço, geralmente, desprezível;
- Reduzido aumento de seção dos elementos reforçados. É possível manter a seção original, desde que, seja executado um pequeno desbaste da seção, antes da aplicação do reforço;
- Possibilidade de colocação das estruturas reforçadas em serviço, poucas horas após a execução do reforço. No entanto, é prudente aguardar, pelo menos 48 horas, idade em que o adesivo possui resistência superior ao de um substrato de boa qualidade.

No entanto, há de se mencionar algumas questões importantes que têm sido objetos de investigações dos diversos centros de pesquisas que atuam nesta área de conhecimento:

- Desprendimento do reforço (efeito *peeling off*);
- Resistência ao fogo;
- Resistência aos raios ultra-violeta.

Estudos ainda são necessários para se compreender melhor o mecanismo de atuação do efeito térmico e raios ultra-violetas sobre a estrutura reforçada, diferente do efeito *peeling off*, estudado exaustivamente por diversos pesquisadores, ACI COMMITTEE 440 (2002) e CEB-FIB (2001). O critério adotado para proteger as estruturas reforçadas com CFRP dos efeitos negativos da variação térmica e da incidência de raios ultra-violeta tem sido a de aplicação de uma camada de argamassa polimérica, para proteção térmica, e de pinturas resistentes, que funcionam como filtros, para o caso dos raios ultra-violeta. Segundo Machado (2002), avaliações realizadas em sistemas que utilizam mantas de fibras de carbono sob efeitos de luz ultra-violeta revelaram excelente comportamento do compósito, sem qualquer degradação do sistema de reforço.

Esse quadro, do estado de conhecimento, motivou a realização do presente trabalho, com intuito de colaborar para o entendimento da eficiência do reforço com CFRP em estruturas de concreto submetidas à variação de temperatura. Os dados obtidos permitem qualificar a segurança da estrutura reforçada sob efeito térmico e apreciar a técnica de reforço com CFRP mais eficaz.

## **2 Estudo experimental**

O estudo experimental teve como principal objetivo avaliar o comportamento de estruturas de concreto reforçadas com CFRP, submetidas à variação de

temperatura, de 30 °C (temperatura ambiente), 70 °C, 110 °C e 150 °C. Utilizou-se três técnicas de reforço, com intuito de verificar a técnica mais eficaz:

- Colagem de manta de CFRP sobre a superfície do concreto.
- Colagem de laminado de CFRP sobre a superfície do concreto.
- Colagem de laminado de CFRP em entalhe realizado no concreto de cobrimento.

## 2.1 Corpos de prova

Foram executados oito prismas em concreto simples, com dimensões de 40 x 40 x 1060 mm<sup>3</sup>, para serem cortados 6 corpos de prova, em cada prisma, com dimensões de 40 x 40 x 160 mm<sup>3</sup>, totalizando 48 corpos de prova, conforme representado na Figura 2 e 3.

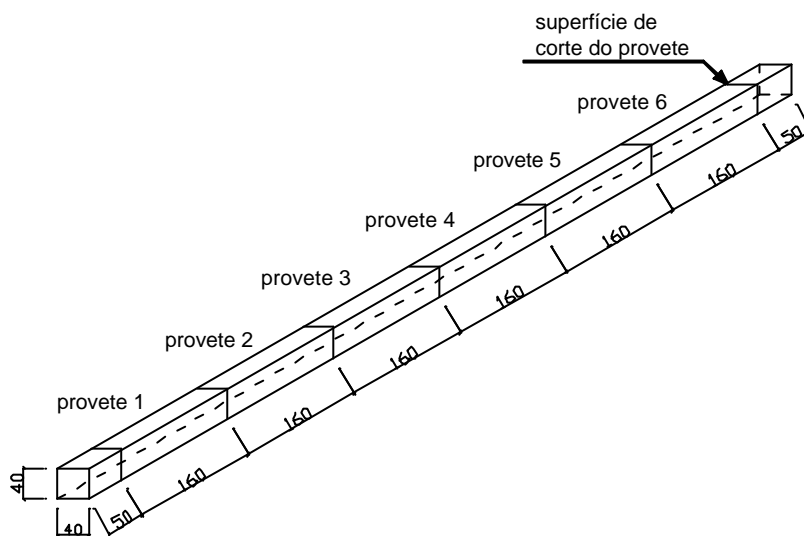


Figura 2 – Dimensões dos corpos de prova - perspectiva.



Figura 3 – Molde utilizado para concretagem e aspecto da superfície de concretagem dos corpos de prova - vista superior.

## 2.2 Materiais utilizados

### 2.2.1 Concreto

Os corpos de prova foram executados com concreto classe C20, solicitado em uma central de concreto pronto. O concreto teve a composição conforme se apresenta na Tabela 1. O Slump do concreto foi de  $60 \pm 10$  mm. Durante a concretagem dos corpos de prova foram moldados 3 cilíndricos de 150 mm de diâmetro por 300 mm de altura para obter-se a resistência à compressão uniaxial na data de realização dos ensaios das peças reforçadas.

Tabela 1 – Composição do concreto (traço do concreto).

Material	Quantidade
Areia fina	145 kg/m <sup>3</sup>
Areia média	576 kg/m <sup>3</sup>
Brita 0	667 kg/m <sup>3</sup>
Cimento	296,4 kg/m <sup>3</sup>
Água	190 l
Superplastificante	2,71 l

Foram ensaiados três corpos de prova cilíndricos de 150 mm de diâmetro por 300 mm de altura, com objetivo de obter-se a resistência à compressão uniaxial do concreto na idade de realização dos ensaios das peças reforçadas, obtendo-se 25,7 MPa.

### 2.2.2 Laminado e manta de CFRP

Segundo Cruz et al., as faixas de laminado utilizadas no presente trabalho têm secção transversal de  $9.59 \pm 0.09$  mm de largura por  $1.45 \pm 0.005$  mm de espessura,  $158.8 \pm 2.6$  GPa (c.v. 1.6 %) de valor médio de módulo de Young,  $2739.5 \pm 85.7$  MPa (c.v. 3.1 %) de valor médio de resistência à tracção e  $17.0 \pm 0.4$  ‰ (2.4 %) de extensão última. Segundo o fabricante, o módulo de Young, a resistência a tracção e a extensão última da manta de CFRP é de 240 GPa, 3700 MPa e 15,4 ‰, respectivamente, sendo de 0.111 mm a sua espessura.

### 2.2.3 Adesivo epoxídico para aplicação em laminados de CFRP

Ensaio de tracção uniaxial sobre provetes do adesivo epoxídico utilizado para fixar os laminados de CFRP ao betão revelaram que este material tem um comportamento não linear, com uma tensão de rotura que varia entre os 16 e os 22 MPa, sendo de aproximadamente 5 GPa o seu módulo de elasticidade, conforme o Manual do Fabricante.

### 2.2.4 Adesivo epoxídico para aplicação em mantas de CFRP

O adesivo epoxídico utilizado para colar a manta de CFRP ao substrato de concreto é bi-componente, apresentando consistência fluida após os componentes serem misturados na proporção de 1:3.2.

Segundo informações do fabricante o adesivo epoxídico possui módulo de Young da ordem de 3 GPa, resistência à tracção de 50 MPa e extensão na rotura de 2,5 %.

## 2.3 Procedimento de Reforço

### 2.3.1 Técnica de colagem de manta sobre a superfície do concreto.

O reforço dos corpos de prova reforçados segundo esta técnica seguiu as recomendações do fabricante. Os principais procedimentos podem ser resumidos:

- Preparo da superfície do concreto (substrato) por meio de polimento com disco de desbaste.
- Limpeza do substrato de concreto por aplicação de jato de ar com a finalidade de retirar todo o pó e partículas soltas.
- Mistura do adesivo epoxídico bi-componente na proporção 1:3.2, conforme recomendações do fabricante.
- Aplicação do adesivo sobre a superfície do substrato com auxílio de um pincel.
- Colocação da manta com aplicação de pressão por meio de um rolo de borracha na medida em que é retirada a lâmina de plástico que envolve a manta de CFRP.
- Aplicação de uma camada de adesivo epoxídico sobre a manta. Na sequência, imediatamente após a primeira camada, aplicou-se outra camada de manta e adesivo, assim procedendo-se até completar três camadas de reforço. A opção de aplicar-se três camadas foi necessária para obter-se área de reforço equivalente à área de laminado, utilizado nas outras duas técnicas de reforço. Este procedimento está de acordo com recomendações que constam em Fortes et al. (2002), sugerindo a utilização de no máximo três camadas de mantas.
- Verificação da qualidade do reforço, geralmente, por auscultação.

Detalhes adicionais podem ser obtidos em DIAS (2001).

### 2.3.2 Técnica de colagem de laminado sobre a superfície do concreto

Neste sistema de reforço também foram seguidas as recomendações do fabricante, sendo os principais procedimentos:

- Preparo do substrato de concreto pela retirada da camada superficial de nata de cimento, utilizando-se talhadeira e marreta.
- Limpeza da superfície do concreto por meio de jato de ar.
- Limpeza da superfície do laminado com pano umedecido com acetona ou produto similar.
- Mistura do adesivo epoxídico, tixotrópico, na proporção de 2:1, segundo as recomendações do fabricante.
- Aplicação do adesivo epoxídico nas superfícies do concreto e do laminado, utilizando-se uma espátula.
- Posicionamento do laminado sobre o concreto, na face onde foi aplicado o epóxi.
- Aplicação de pressão utilizando-se um rolo de borracha, com a retirada do epóxi expulso nas laterais do laminado.
- Verificação da qualidade do reforço, por auscultação.

### 2.3.3 – Laminado de CRFP colado em entalhe realizado no concreto.

Neste caso não foi utilizado o primer, recomendado pelo fabricante, devido à perfeita regularidade do concreto após a realização do entalhe. Essa nova técnica, já investigada por FERREIRA (2000), no reforço de pilares, por FORTES et al.(2002), no reforço de vigas, tem demonstrado excelente comportamento quanto ao aumento

de capacidade resistente e de carga em serviço e, ainda, aumento de rigidez de peças reforçadas à flexão.

Os principais procedimentos realizados na aplicação do reforço foram:

- Execução de entalhes no betão de recobrimento com 3 a 4 mm de espessura por 12 mm de profundidade.
- Limpeza dos entalhes por intermédio de jato de ar comprimido.
- Limpeza dos laminados de CFRP com pano umedecido com acetona.
- Mistura do adesivo epoxídico segundo as recomendações do fabricante.
- Aplicação do adesivo ao longo de todo o entalhe, preenchendo-o por completo.
- Aplicação do adesivo em toda a superfície do laminado, por intermédio de uma espátula.
- Inserção do laminado no entalhe. Com ajuda de uma espátula preenche-se todo o entalhe, evitando-se a formação de vazios e retirando-se o adesivo excedente.
- Verificação da qualidade do reforço, geralmente, por inspeção visual e auscultação.

Os 48 corpos de prova prismáticos foram divididos em quatro séries, conforme a temperatura aplicada. Na primeira série os corpos de prova foram submetidos à temperatura ambiente, cerca de 30°C, na segunda série foram submetidos à temperatura de 70°C, na terceira 110°C e na quarta 150°C. Os corpos de prova foram submetidos à temperatura constante durante 24 horas, sendo ensaiados logo após a sua retirada do forno. As descrições das séries ensaiadas podem ser vistas na Tabela 2, em que LI significa a técnica de laminados colados em entalhes realizados no concreto de cobertura, LC laminados colados na superfície do concreto e M mantas coladas na superfície do concreto.

Tabela 2 – Descrição das séries ensaiadas.

Série/ Temp.	Corpos de prova											
	Laminado Inserido (LI)				Laminado Colado (LC)				Manta (M)			
S1/~30 °C	LI11	LI12	LI13	LI14	LC11	LC12	LC13	LC14	M11	M12	M13	M14
S2/70 °C	LI21	LI22	LI23	LI24	LC21	LC22	LC23	LC24	M21	M22	M23	M24
S3/110 °C	LI31	LI32	LI33	LI34	LC31	LC32	LC33	LC34	M31	M32	M33	M34
S4/150 °C	LI41	LI42	LI43	LI44	LC41	LC42	LC43	LC44	M41	M42	M43	M44

## 2.4 Condições de Apoio e de Carregamento.

Os corpos de prova foram submetidos a ensaios a três pontos, dois apoios e uma carga aplicada a meio vão, sob controle de força até ser alcançada a ruptura da peça, conforme mostra a Figura 4.

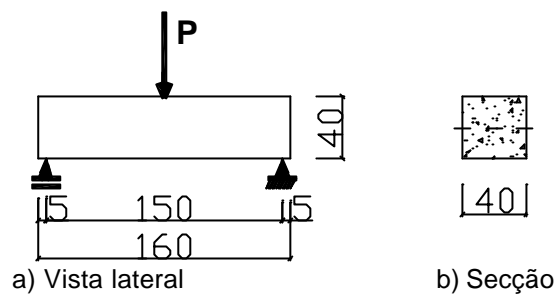


Figura 4 – Esquema de ensaios (dimensões em milímetros).

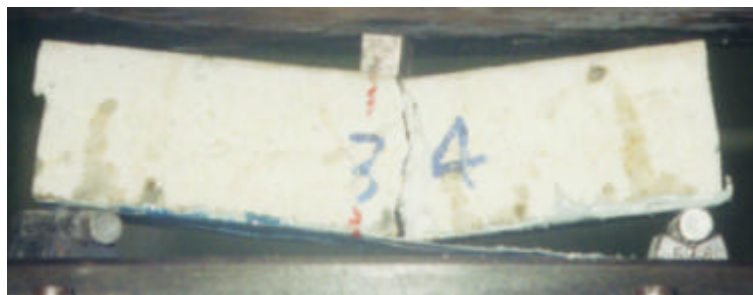
## 2.5 Apresentação e Análise dos Resultados

### 2.5.1 – Modos de ruptura

Todos os corpos de prova reforçados segundo as técnicas de colagem de laminados ou mantas na superfície do concreto apresentaram ruptura por flexão, com fissura aproximadamente vertical localizada a meio vão. A ruptura foi típica destas técnicas de reforço, consequência do efeito *peeling off*, descolando o material empregado no reforço, conforme mostra a Figura 5.



a) Laminado colado na superfície do concreto.



b) Manta colada na superfície do concreto.

Figura 5 – Modo de ruptura dos corpos de prova reforçados com laminados colados (a) ou mantas (b).

Os corpos de prova reforçados segundo a técnica de colagem de laminados em entalhes realizados no concreto apresentaram rupturas causadas pelo elevado efeito de corte no concreto, apresentando fissuras inclinadas da região do apoio em direção ao meio vão da face superior do corpo de prova, conforme a Figura 6.

O mecanismo de reforço utilizado nesta técnica, após a ruptura, apresentou-se íntegro em todos os corpos de prova. Este comportamento indica que caso a



resistência à tração do concreto fosse maior a carga de ruptura também teria alcançado valores maiores. Vale salientar, portanto, que a ruptura ocorreu por falha no concreto.



Figura 6 – Modo de ruptura dos corpos de prova reforçados com laminados inseridos em entalhes.

### 2.5.2 –Carga ruptura

Na Tabela 3 apresenta-se a carga de ruptura dos corpos de prova ensaiados, com as respectivas médias dos quatro valores obtidos em cada técnica estudada.

Tabela 3 – Cargas de rupturas dos corpos de prova ensaiados.

	Série S1 (30°C)			Série S2 (70°C)			Série S3 (110°C)			Série S4 (150°C)	
	CP	Carga (kN)		CP	Carga (kN)		CP	Carga (kN)		CP	Carga (kN)
	LI11	10,5		LI21	8,5		LI31	7,5		LI41	7,1
	LI12	10,0		LI22	9,0		LI32	7,5		LI42	7,0
	LI13	10,0		LI23	8,5		LI33	7,6		LI43	6,9
	LI14	10,0		LI24	8,8		LI34	7,5		LI44	7,1
Média		10,13			8,70			7,53			7,03
	LC11	5,0		LC21	4,3		LC31	4,0		LC41	3,5
	LC12	5,0		LC22	4,2		LC32	4,1		LC42	3,9
	LC13	5,0		LC23	4,2		LC33	3,9		LC43	3,8
	LC14	5,0		LC24	4,2		LC34	4,0		LC44	4,0
Média		5,00			4,23			4,00			3,80
	M11	5,0		M21	4,7		M31	4,2		M41	4,0
	M12	5,5		M22	4,8		M32	4,2		M42	4,0
	M13	5,5		M23	4,5		M33	4,3		M43	4,0
	M14	5,3		M24	4,5		M34	4,1		M44	4,0
Média		5,33			4,63			4,20			4,00

A carga de ruptura dos corpos de prova decresceu com o aumento de temperatura. No entanto esse decréscimo não se mostrou constante.

Conforme se pode observar na Tabela 4, quando a temperatura foi aumentada de 30°C para 70°C o decréscimo de capacidade resistente foi praticamente o mesmo nas três técnicas empregadas.

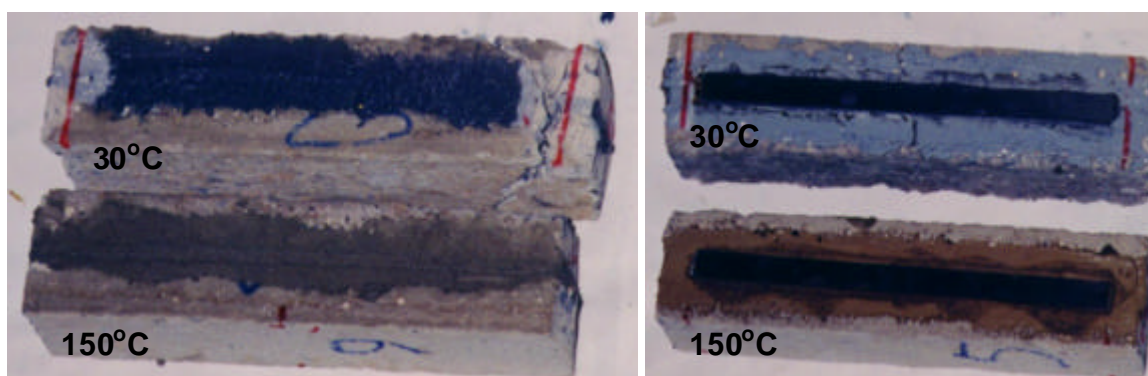
Quando a temperatura foi aumentada de 70°C para 110°C, faixa de temperatura em que ocorre a perda brusca de eficiência (vitrificação) do epóxi, o decréscimo de

capacidade resistente foi ligeiramente maior para a técnica de laminados colados em entalhes realizados no concreto, o mesmo acontecendo para a variação de temperatura de 110°C para 150°C. Possivelmente este comportamento aconteceu devido ao rápido aumento de temperatura da massa de concreto e maior área de contato do adesivo epoxídico com o concreto.

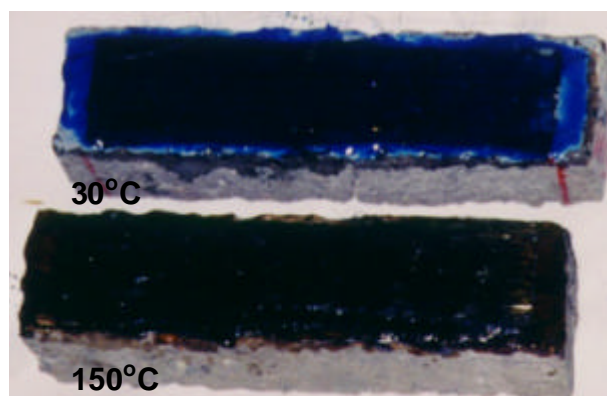
Até a temperatura de 110°C praticamente não foi notada modificações nos materiais empregados no reforço. No entanto, modificações significativas na coloração do adesivo epoxídico ocorreram na faixa de variação de temperatura de 110°C para 150°C, em todas as técnicas de reforço empregadas, conforme mostra a Figura 7. Vale salientar que devido às pequenas dimensões dos corpos de prova utilizados pode-se considerar que as alterações na capacidade resistente são insignificantes.

Tabela 4 – Cargas de rupturas dos corpos de prova ensaiados.

Técnica	Série S1 (30°C)	Série S2 (70°C)	Série S3 (110°C)	Série S4 (150°C)	S2/S1	S3/S2	S4/S3
LI	10,13	8,70	7,53	7,03	0,859	0,866	0,934
LC	5,00	4,23	4,00	3,80	0,846	0,946	0,950
M	5,33	4,63	4,20	4,00	0,869	0,907	0,954



a) Laminado colado em entalhe realizado no concreto. b) Laminado colado na superfície do concreto.



c) Manta colada na superfície do concreto.

Figura 7 – Aspecto do reforço nas temperaturas de 30°C e de 150°C - técnicas de reforço por colagem de laminado em entalhes (a), por colagem de laminado (b) ou de manta (c) na superfície do concreto.

A Capacidade resistente dos corpos de prova apresentou maior diminuição em temperaturas mais baixas (faixa de 30 °C para 70 °C). Com aumento de temperatura o decréscimo de capacidade resistente torna-se menor, indicando que o reforço vai diminuindo sua colaboração na resistência do conjunto. Nas técnicas que utilizam laminados ou mantas coladas na superfície do concreto a capacidade resistente da peça reforçada vai, cada vez mais, se aproximando da capacidade resistente do concreto, conforme mostra a Figura 8.

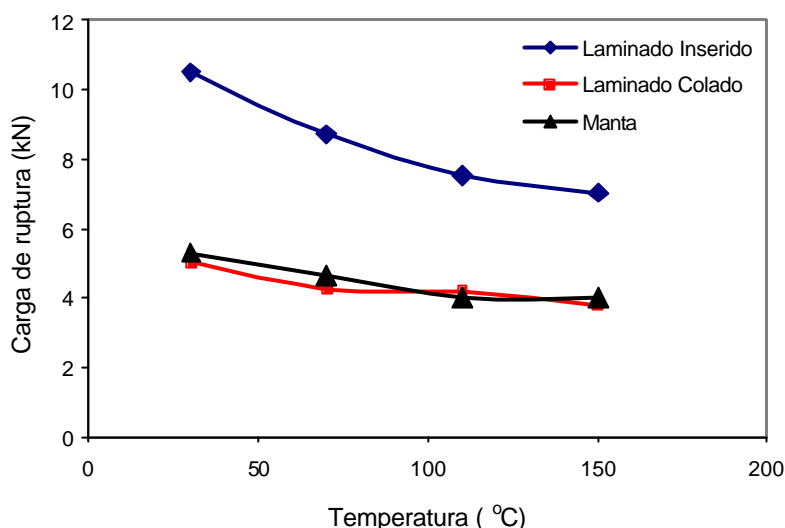


Figura 8 – Diagrama de carga de ruptura vs. temperatura para todos os corpos de prova ensaiados.

Além dos aspectos relacionados ao efeito da variação térmica é de fundamental importância verificar o melhor comportamento da técnica de laminados colados em entalhes realizados no concreto, comparado com as outras técnicas em estudo, traduzido pela maior capacidade resistente. Na Tabela 5 apresenta-se a relação entre a carga de ruptura dos corpos de prova da técnica de laminados colados em entalhes e as demais técnicas empregadas, já considerando os diferentes braços de alavanca. A capacidade resistente da técnica de laminados colados em entalhes foi sempre superior ao dobro das técnicas de colagem de laminados ou mantas sobre a superfície do concreto.

Mesmo na temperatura de 150°C (série S4) a carga de ruptura das peças reforçadas segundo a técnica de colagem de laminados em entalhes realizados no concreto excedeu em 40% a carga de ruptura na temperatura ambiente (série S1) das peças reforçadas segundo a técnica de colagem de laminado na superfície do concreto, demonstrando a eficiência desta nova técnica em relação às técnicas já consagradas (laminados ou mantas coladas sobre a superfície do concreto).

Tabela 5 – Cargas de rupturas dos corpos de prova ensaiados.

Relação entre técnicas	Série S1 (30°C)	Série S2 (70°C)	Série S3 (110°C)	Série S4 (150°C)
LI / LC	2,37	2,41	2,21	2,17
LI / M	2,23	2,20	2,10	2,06

### 3 Conclusões

No presente trabalho foi avaliada a influência da temperatura na capacidade resistente de peças de concreto reforçadas segundo as técnicas tradicionais de colagem externa de laminados ou mantas de CFRP e de uma nova técnica de colagem de laminados de CFRP em entalhes realizados no concreto.

A capacidade de carga das peças ensaiadas reduziu em cerca de 15% variando-se a temperatura de 30°C para 70°C, atingindo o valor máximo de, aproximadamente, 30% quando alcançada a temperatura de 150°C, pelo que é importante à imposição de coeficiente de minoração da capacidade resistente no dimensionamento de estruturas reforçadas com CFRP, principalmente tratando-se de estruturas com risco elevado de incêndios.

A capacidade resistente das peças reforçadas pelo sistema de laminados colados em entalhes realizados no concreto foi maior que o dobro das técnicas de colagem externa de laminados ou mantas. Por esse motivo, apesar da redução de capacidade resistente com o aumento de temperatura, as peças reforçadas por colagem de laminados em entalhes realizados no concreto, ainda apresentaram cargas de ruptura superiores as cargas de ruptura das peças reforçadas segundo as outras duas técnicas.

Considerando o presente estudo pode-se admitir que a técnica de laminado colado em entalhe realizado no concreto é mais eficaz que as demais técnicas de reforço por colagem externa de laminados ou mantas de CFRP.

### 4 Agradecimentos

Os autores manifestam os seus agradecimentos às empresas que gentilmente forneceram os materiais utilizados na realização do presente trabalho, entre elas a Bettor MBT Portugal, MBT Brasil, Secil, UNIBETÃO (Central de Braga), Solucel, Nordesfer, Ferseque. Ao CEMACON, agradece-se a colaboração prestada nos ensaios de tração uniaxial de laminados e adesivos epoxídicos. O primeiro autor agradece ao CEFET-BA e ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho pela utilização de máquinas equipamentos e pessoal especializado, indispensáveis a realização dos trabalhos.

### 5 Referências bibliográficas

ACI COMMITTEE 440. **Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures.** ACI, Technical report, May pp.118, 2002.

BETTOR MBT Portugal. **Sistema Compósito MBrace.** Fichas técnicas, Lisboa, 1999.

CEB-FIB. **Externally bonded FRP reinforcement for RC structures.** International Federation for Structural Concrete – Technical report, July, pp. 130, 2001.

DIAS, S.J.E.. **Verificação experimental do reforço com CFRP de estruturas de betão à flexão.** Tese de Mestrado, Dep. Eng<sup>a</sup> Civil, FEUP, 2001.

FERREIRA, D.R.S.M.. **Pilares de Betão Armado Reforçados com Laminados de Fibras de Carbono.** MSc Thesis, Civil Eng. Dep., University of Minho, Portugal, 2000.

FORTES, A.S.; BARROS, J.A.O.; PADARATZ, I.J.. **Vigas de betão armado reforçadas com laminados de CFRP inseridos no betão de recobrimento.** Relatório 02-DEC/E-13, 32 pags., Junho 2002.

MACHADO, A. de P. **Reforço de Estruturas de concreto armado com fibras de carbono (características, dimensionamento e aplicação).** Editora PINI Ltda, São Paulo – SP – Brasil, 2002.

SENA-CRUZ, J.M.; BARROS, J.A.O.; FARIA, R.M.C.M.. **Assessing the embedded length of epoxy-bonded carbon laminates by pull-out bending tests.** International Conference Composites in Construction, Porto, Portugal, October, pp. 217-222, 2001.